

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Improving automated detection of autism spectrum disorder with deep learning based on resting-state and task-based fMRI data
著者(和文)	RAKHIMBERDINAZarina
Author(English)	Zarina Rakhimberdina
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12606号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:村田 剛志,秋山 泰,岡崎 直観,DEFAGO XAVIER,石田 貴士
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12606号, Conferred date:2023/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Zarina Rakhimberdina	
		氏名	職名	氏名	職名
論文審査 審査員	主査	村田 剛志	教授	石田 貴士	准教授
	審査員	秋山 泰	教授		
		岡崎 直観	教授		
		DEFAGO Xavier	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は“Improving automated detection of autism spectrum disorder with deep learning based on resting-state and task-based fMRI data”と題し、英文6章とAppendixからなっている。

第1章「Introduction」では、脳画像処理技術の進歩に伴い、神経発達障害の医療診断を機械学習で自動化することで、従来の臨床医による診断の限界を克服することが期待できることから、自閉スペクトラム症 (autism spectrum disorder, ASD) 診断を改善するための最適な方法を、データの選択と深層学習の両面から明らかにすることを本論文の目的とすると述べている。その上で、ASD 診断の関連研究、脳画像処理、それに対する深層学習手法、ASD 診断の脳画像データとしての安静時 fMRI とタスクベース fMRI、本論文の構成、出版論文リストについて述べている。

第2章「Background」では、安静時 fMRI とタスクベース fMRI のそれぞれの利点や関連研究、両者の基本的な違い、深層学習を用いる際の課題について述べている。安静時 fMRI は一般に静的なデータであり、脳領域間の相関は時間の経過とともに比較的一定に保たれる。そのため、安静時 fMRI を処理する深層学習器は、ネットワーク層の数や学習パラメータの数が少なく、単一入力の深層学習器で十分である。一方、タスクベース fMRI は動的な性質を持っており、被験者がさまざまなタスクを行う際に脳活動のパターンが変化する。タスクベース fMRI を処理する深層学習器は、安静時 fMRI を処理するものより深く複雑で、多くのネットワーク層と学習パラメータを持つ傾向がある。また、タスクの際の視覚刺激の情報が追加されることから、学習器は fMRI データと視覚刺激のマルチモーダルの入力を処理する必要があると述べている。

第3章「Resting-state fMRI for Classifying Autism Spectrum Disorder」では、安静時 fMRI に基づいて ASD 診断を行うアプローチとして、複数の患者の安静時 fMRI の関係を表す population graph を提案している。この population graph の頂点は各患者を表し、fMRI 画像から得られる特徴ベクトルが付与されている。また辺は画像以外の特徴 (患者の性別・年齢・データ観測地点) の関連を表している。公開されている fMRI データセットである Autism Brain Imaging Data Exchange (ABIDE) から得られる ASD 患者と健常者のデータから population graph を生成し、畳み込みを単純化したグラフニューラルネットワークである Simple Graph Convolutions (SGC) を用いて ASD 患者か健常者かを分類する実験を行った。その結果、実験の時点で最高性能であった Parisot らによる GCN に基づく手法を 1% 程度上回る分類精度を、50 分の 1 以下の計算時間で実現しており、提案手法の有効性を示している。さらに population graph の辺の生成方法が複数あることから、それらを 4 通りに分類してグラフフーリエ変換によって分析した。その結果、安静時 fMRI の類似度に基づく辺生成方法によるグラフが高精度であることが分かった。そのような低周波で高精度なグラフを選んでアンサンブル学習を行った結果、Sherkatghanad らの CNN や Anirudh, Thiagarajan らの Ensemble bootstrap 等の手法よりも高い分類性能を示している。

第4章「Task-based fMRI for Classifying Autism Spectrum Disorder」では、タスクベース fMRI から ASD 診断をするためのグラフベースの深層学習器を初めて提案している。第3章で述べた population graph の枠組みを、ASD 患者に視覚刺激を与えた Utzerath らによるタスクベース fMRI データに対して適用し、ASD 患者か健常者かを分類する実験を行っている。GCN などのベースライン手法と比較して、分類精度が AUC で 0.04 から 0.09 程度向上したことを実験結果で示している。タスクベース fMRI においては、異なるタスクを行うことで訓練データ数を増加させることができ、それによってモデルの性能を向上させることができることを指摘している。ablation study として、population graph と fMRI の特徴ベクトルのそれぞれの分類精度への貢献を調べるために、グラフを用いず fMRI の特徴ベクトルのみの場合、ランダムグラフと fMRI の特徴ベクトルの場合、全結合グラフと fMRI の特徴ベクトルの場合について、実験結果を示している。また、視覚刺激の再構成および視覚刺激の分

類に対しても、タスクベース fMRI と対応する視覚刺激の特徴の両方を用いたマルチモーダル深層学習の実験を行って性能が向上しており、タスクベース fMRI に対して深層学習手法を用いることの有効性を示している。

第5章「Discussion」では、ASD 診断の評価指標として AUC、感度 (sensitivity)、特異度 (specificity)、精度 (accuracy) について述べ、実際の ASD 診断において提案手法を用いる可能性について述べている。また本論文における問い (どのようなニューラルネットワークが効率的に集団をモデル化できるか、グラフベースの分類の枠組みはタスクベース fMRI における ASD 診断を向上させることができるか、タスクベース fMRI では、安静時 fMRI と比較して深層学習はどの程度有効か) について議論している。さらに第3章における提案手法において考慮した点や SGC の限界、ASD 診断におけるマルチモーダルアンサンブル学習の可能性と限界について述べ、安静時 fMRI とタスクベース fMRI について、サンプルデータ数、データ取得の容易さ、ノイズの割合、利用可能な深層学習器の観点から両者を比較している。

第6章「Conclusion」では、本論文の主要な貢献および限界についてまとめた上で、今後の研究の方向性について述べている。

Appendix では、男性患者と女性患者の偏りが分類精度に及ぼす影響について述べている。

以上で述べたように、本論文では、安静時 fMRI とタスクベース fMRI の脳画像データに基づいて、高精度の ASD 診断を実現するアプローチを提案し、実験によってその有効性を示している。本論文での成果は、ASD 診断だけでなく、視覚刺激の再構成等のタスクにおいてもグラフベースの深層学習が有効であることを示すものであり、機械学習および脳画像処理技術において学術上寄与するところが大きい。よって本論文は博士 (学術) の学位論文として十分価値があるものと認める。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。